

## Streszczenie

Pomiar rozkładu granulometrycznego gleb jest jedną z podstawowych analiz gleboznawczych. Dotychczas pomiar ten realizowany był przede wszystkim przy wykorzystaniu metod sitowo-sedymentacyjnych (głównie metody pipetowej oraz areometrycznej). Pomiaru te są stosunkowo mało dokładne, wymagają dużej próbki materiału glebowego, a do tego są czasochłonne. Stąd też pojawienie się nowej metody – dyfrakcji laserowej rozbudziło nadzieje, że ta szybka i dająca bardzo odtwarzalne wyniki metoda zastąpi dotychczas stosowane. Praktycznie od momentu pojawienia się dyfrakcji laserowej, równoległe z pracami opisującymi zagadnienia metodyczne, zaczęto wykorzystywać tę metodę do charakterystyki gleb.

Jednym z pierwszych kroków jakie podjęto równocześnie w wielu laboratoriach gleboznawczych było porównywanie rozkładów granulometrycznych uzyskiwanych metodą dyfrakcji laserowej z rozkładami wyznaczanymi metodami sitowo-sedymentacyjnymi. Analizując doniesienia literaturowe przedstawiające wyniki tych prac należy zauważyć, że zdecydowana większość z nich informuje, że metoda dyfrakcji laserowej zaniża (w porównaniu z metodami sedymentacyjnymi) zawartość frakcji ilastej. Jednakże stopień zaniżania był bardzo różny u różnych badaczy. Należy także odnotować, że pojawiały się także nieliczne publikacje, których autorzy otrzymywali wyniki przeciwne – tj. zaniżanie frakcji piasku. Pomimo stosunkowo dużej liczby prac metodycznych nie udało się do tej pory określić przyczyn tych wszystkich różnic i w konsekwencji czasami sprzecznych doniesień.

Celem pracy było określenie źródeł błędów wynikających z heterogeniczności tekstury gleb w pomiarach uziarnienia przy użyciu metody dyfrakcji laserowej. Realizacja celu podstawowego możliwa była poprzez realizację celów cząstkowych, tj. określenie wpływu aspektów pomiarowych związanych z badanym obiektem, takich jak:

- stosunek zawartości poszczególnych frakcji,
- różnice w objętości cząstek glebowych,
- liczba badanych cząstek,
- ciężar badanych cząstek,
- kształt badanych cząstek,
- współczynniki optyczne,

oraz określenie wpływu aspektów wynikających z budowy aparatu i jednocześnie związanych z badanym obiektem, takich jak konstrukcja pompy, sposób mieszania oraz

miejsce zasysania próbki. Pośrednim celem była także próba odpowiedzi na pytanie o wpływ badanych aspektów na rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskiwanymi z wykorzystaniem dyfrakcji laserowej, a otrzymanymi metodami sitowo-sedymentacyjnymi. Dodatkowym celem było sprawdzenie, czy metoda sitowo-laserowa pozwala na wyeliminowanie istotnych źródeł niepewności. Przesłanki do podjęcia tego zagadnienia pojawiły się w trakcie realizacji celu zasadniczego.

Ze względu na metodyczny charakter niniejszej pracy, do poszczególnych zagadnień dobierany był różny materiał badawczy, jak również modyfikowano parametry wykorzystywanych metod. Celem tych zabiegów było przeprowadzenie pomiarów pozwalających jednoznacznie zinterpretować wyniki w kontekście badanego zagadnienia. Do badań wykorzystano zróżnicowany pod względem rozkładu granulometrycznego materiał glebowy pobrany z poziomu ornego 64 profili, frakcję piasku osadów fluwialnego, eolicznego i fluwioglacjalnego, kulki szklane oraz mieszaniny modelowe przygotowane z wybranych, opisanych powyżej materiałów z dodatkiem frakcji ilastej odseparowanej z jednej z gleb.

Na podstawie przeprowadzonych prac można stwierdzić, że wykonując pomiary rozkładów granulometrycznych z wykorzystaniem danego dyfraktometru laserowego w przypadku pewnych gleb występować może zjawisko zaniżania zawartości frakcji ilastej, a w przypadku innych gleb – zjawisko zawyżania tej frakcji. Niezależnie od tego, dla danej gleby, konstrukcja jednej jednostki dyspergującej może wpłynąć na zawyżanie, a innej jednostki na zaniżanie zawartości frakcji ilastej. Dodatkowo sytuacja komplikuje się gdy porównuje się wyniki uzyskane dla różnych gleb uzyskane przy użyciu różnych jednostek dyspergujących.

Uogólnieniem powyższych wniosków jest stwierdzenie, że praktycznie nie ma możliwości określenia czy w danym pomiarze mamy do czynienia z zaniżaniem czy zawyżaniem zawartości frakcji ilastej. Żeby to stwierdzić, za każdym razem trzeba by było przeprowadzać dodatkowe, czasochłonne analizy, których realizacja przekreśla istotne zalety dyfrakcji laserowej – szybkość i niski koszt. W tym kontekście należy więc rozważyć nierozstrzygnięty problem dotyczący możliwości zastąpienia w pomiarach rozkładu granulometrycznego gleb metod sedymentacyjnych metodą dyfrakcji laserowej - dyskusja na ten temat toczy się w środowisku gleboznawców od co najmniej kilkunastu lat.

W oparciu o doświadczenia pozyskane w ramach realizacji niniejszej pracy można zarysować dwa możliwe scenariusze:

- Metoda dyfrakcji laserowej zastąpi całkowicie metody sitowo-sedymentacyjne. Warunkiem efektywnej realizacji tego scenariusza byłyby konieczność, żeby całe światowe środowisko gleboznawców podjęło decyzję o zmianie metody i konsekwentnie wdrożyło je do praktyki. Jednocześnie konieczne byłoby ustalenie standardu aparatu oraz procedury pomiarowej tak, aby wszyscy pracowali według znormalizowanej metody. W takiej sytuacji błędy pomiaru stałyby się błędami systematycznymi i dzięki temu możliwe byłoby porównywanie wyników. Trudno jednak w chwili obecnej wyobrazić sobie takie rozwiązanie.

- Metoda dyfrakcji laserowej będzie wykorzystywana lokalnie do charakterystyki gleb (z tym scenariuszem mamy do czynienia w chwili obecnej). Jednakże w tej sytuacji należy zdać sobie sprawę z faktu, że możliwości porównywania wyników uzyskanych w różnych laboratoriach są ograniczone.

Niezależnie od tego, który z powyższych scenariuszy zostanie zrealizowany warto pamiętać, że (przy założeniu zestandaryzowania metodyki) metoda dyfrakcji laserowej nadaje się, jak żadna inna, do badań porównawczych różnych obiektów np. zróżnicowania rozkładu granulometrycznego gleby na stoku lub zróżnicowania rozkładu wielkości cząstek osadów i/lub innych wypełnień form geomorfologicznych.

## Abstract

The measurement of particle size distribution of soils is one of the basic soil science analyses. To date, such measurements were performed mainly with sieve-sedimentation methods (primarily the pipetting and aerometric methods). These measurements are relatively little precise, require a large sample size, and are time consuming. Hence, the emergence of a new method based on laser diffraction has aroused hopes that this rapid approach yielding reproducible results will replace the methods employed so far. In fact, since the emergence of laser diffraction, the method has been used for characterisation of soils in parallel with methodological studies.

One of the first steps undertaken concurrently in a number of soil science laboratories was a comparison of particle size distributions obtained with the laser diffraction method with those determined by the sieve-sedimentation approaches. Analysis of literature data presenting results of these investigations indicates that a vast majority of reports demonstrate that the laser diffraction method underestimates the clay fraction content (in comparison with the sedimentation methods). However, the degree of the underestimation varied between the reports presented by different researchers. It should be noted that in few publications the authors reported opposite results, i.e. underestimation of the sand fraction. Despite the relatively large number of methodological papers available, the causes of all these differences and, consequently, sources of conflicting results have not been identified so far.

The aim of the study was to identify the sources of errors, associated with the heterogeneity of soil texture, in the measurements of particle size distribution using the laser diffraction method. The implementation of the major goal was achieved through partial objectives, i.e. determination of the effect of measurement aspects related to the investigated objects, e.g.

- ratio of the content of each fraction,
- differences in the volume of soil particles,
- number of analysed particles,
- weight of analysed particles,
- shape of analysed particles,
- optical coefficients,

as well as determination of the effects of the device structure and, simultaneously, characteristics of the investigated objects, e.g. pump design, mixing method, and sample suction site. An intermediate aim was an attempt to answer the question about the impact

of the examined aspects on the discrepancies between the results obtained with the laser diffraction and sieve-sedimentation methods. An additional objective was to find out whether the sieve-sedimentation method allows elimination of the major sources of uncertainty. The rationale behind this aim emerged during the implementation of the major objective.

Given the methodological nature of this study, different materials were chosen for the individual aspects of the research and the parameters of the methods employed were modified in order to interpret the results unambiguously in the context of the analysed issue. The investigations were carried out using soil material with different particle size distribution sampled from the arable layer of 64 profiles, the sand fraction of fluvial, aeolian, and fluvioglacial sediments, glass beads, and model mixtures prepared with the selected materials described above with the addition of a clay fraction separated from one of the soils.

Based on the investigations, it can be concluded that the measurements of particle size distribution with the use of a laser diffractometer can yield underestimated content of the clay fraction for some soils and overestimated results of the fraction for other types of soil. Irrespective of this phenomenon, the design of different dispersant units may promote either overestimation or underestimation of the clay fraction. The situation is additionally complicated when the compared results obtained for different soils have been provided by different dispersant units.

A general conclusion is that it is virtually impossible to determine whether a measurement underestimates or overestimates the clay fraction content. To address this problem, additional time-consuming analyses would have to be carried out, which would undermine the essential advantages of laser diffraction, i.e. the speed and low costs. In this context, the yet unresolved problem of the possibility of replacement of sedimentation methods with the laser diffraction method in measurements of the particle size distribution should be considered; actually, the problem has been discussed by soil scientists for at least several years.

Two possible scenarios can be outlined based on the experience achieved through implementation of this work:

- The laser diffraction method will replace completely the sieve-sedimentation methods. To realise the scenario effectively, the entire soil scientific milieu worldwide should decide to replace the methods and consistently implement the laser diffraction method in practice. Concurrently, it would be necessary to establish a standard of the

device and measurement procedure to provide all researchers with a standardised method. Then, measurement errors would become systematic errors and comparison of results would be feasible. However, this solution is currently hardly imaginable.

- The laser diffraction method will be used locally for characterisation of soils (this scenario is being realised at present). In this situation, however, the possibility of comparison of results obtained in different laboratories is limited.

Regardless of which of these scenarios will be realized, it is worth remembering that (assuming standardization of the methodology) the laser diffraction method is suitable, like no other, for comparative study of various objects – e.g. to investigate the diversity of particle size distribution of the soil on slopes or differentiation of the particle size distribution of sediment and/or other fillings of geomorphological forms.